

# Grenzen der Hochwasservorhersage

Autor(en): **Sinniger, Richard**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **81 (1989)**

Heft 6

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-940480>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Grenzen der Hochwasservorhersage

Richard Sinniger

Verschiedene Gründe haben mich zur Wahl dieses Themas bewogen. Da sind vorerst die mich noch heute beeindruckenden Geschehnisse des Sommers 1987 und die inzwischen erarbeiteten Auswertungen jener Hochwasserereignisse. Ferner stellt sich bei der Beurteilung der Betriebssicherheit von Stauanlagen immer und immer wieder die Frage nach dem höchsten Hochwasser, das während der Lebensdauer der Anlage sicher abgeleitet werden muss. Ganz besonders eindeutig wird aber die Frage, ob ein Ereignis vorauszusehen war, gestellt, wenn der Richter in einem Schadenfall über eine allfällige Schuld entscheiden muss.

Das Thema habe ich aber auch gewählt, um einige nicht wissenschaftliche Aspekte zu erörtern. Dabei soll über die direkt betroffenen Ingenieure hinaus einem weiteren Kreis von Interessenten gezeigt werden, mit welchen Problemen die Beurteilung extremer Naturereignisse behaftet ist und wie schwierig es ist, wissenschaftlich fundierte Prognosen zu stellen.

Vorerst aber als Einleitung die Kurzbeschreibung dreier Ereignisse. Jedes Ereignis ist dabei für einen ganz bestimmten Aspekt charakteristisch.

## Fall 1

In der «Neuen Zürcher Zeitung» vom 30. August 1939 lesen wir den Titel «Für die Unwettergeschädigten im Zürcher Oberland. Ein Hilferuf.» Was war geschehen? Am Freitag des 25. August 1939 ereignete sich über dem Gebiet Wald-Scheidegg – Bachtel ein gewaltiger Wolkenbruch. Aus den Berichten von Augenzeugen kann gefolgert werden, dass der Starkniederschlag nur knapp zwei Stunden von 17 bis 19 Uhr gedauert hat. Dabei wurde bei der Niederschlagsmessstation Wald eine Intensität von 98 mm/55 min und bei der Station Bachtel eine solche von 186 mm/9 Stunden angegeben, bis heute der höchste je verzeichnete Wert seit 1910 [15]. Der Abfluss der Jona erreichte um etwa 18 Uhr katastrophales Ausmass, die Spitze von etwa 190 m<sup>3</sup>/s

wurde eine Stunde später um etwa 19 Uhr vermutet, dies wiederum gemäss Augenzeugen, denn die Abflussmessstation Pilgersteg zwischen Rüti und Wald wurde restlos zerstört, wie übrigens zahlreiche Strassen, Brücken und Teile der Eisenbahnlinie.

Es ist interessant, dieses Ereignis mit den nach 1943 wieder regelmässig gemessenen Abflusswerten einerseits und der ursprünglich von Kürsteiner vorgenommenen Schätzung des Dimensionierungshochwassers einer kleinen Talsperre andererseits zu vergleichen. In Bild 1 sind diese Werte mit einer log. Pearson-III-Verteilung dargestellt, wobei Kürsteiner mit der empirischen Formel  $Q^* = 6 A^{3/4}$  rechnete, was bei der von ihm angenommenen Fläche des Einzugsgebietes von  $A = 24,6 \text{ km}^2$  zu einem Spitzenabfluss von  $Q^* = 66 \text{ m}^3/\text{s}$  führte. Eigentlich ist dies eine ganz gute Schätzung – 1,5 mal den maximalen gemessenen Wert –, wenn da nicht der beobachtete Spitzenabfluss aus dem Jahre 1939 wäre. Interessant ist übrigens, hierzu auch [13] zu vergleichen. Für einen Wert am oberen Rand des Streubandes ergibt sich  $Q_{20} = 1,5 \cdot 2,8 \cdot A^{0,7} = 40 \text{ m}^3/\text{s}$ . Auch die gewählte Verteilung passt nicht schlecht zu den jährlichen Spitzenwerten und würde, gäbe es das Jahr 1939 nicht, zu einer Extrapolation verleiten. Die Schätzung von Kürsteiner entspräche dann etwa dem tausendjährigen Hochwasser. Die Schlussfolgerung aus diesem Beispiel ist sehr einfach: Die Extrapolation einer Extremwertverteilung von gemessenen Spitzenabflüssen ist, für sich alleine genommen, ein untaugliches Mittel zur Abschätzung von ausserordentlichen Abflussereignissen. Darauf habe ich bereits in [10] hingewiesen.

## Fall 2

Am 9. September und bis hinein in die frühen Morgenstunden des 10. September 1965 hat es über grösseren Gebieten des Tessins fast ununterbrochen und mit unterschiedlicher Intensität geregnet. In einer Serie von 99 Werten des 24-Stunden-Niederschlags wird bei einer nahegelegenen Messstation das Maximum von 282 mm registriert. Die maximale Intensität von 52,4 mm/h wird zwischen 20.30 und 21.30 Uhr desselben Tages bei derselben Messstation ermittelt. Trägt man die jeweils maximale Intensität einer bestimmten Regendauer auf, gelangt man zu der Darstellung

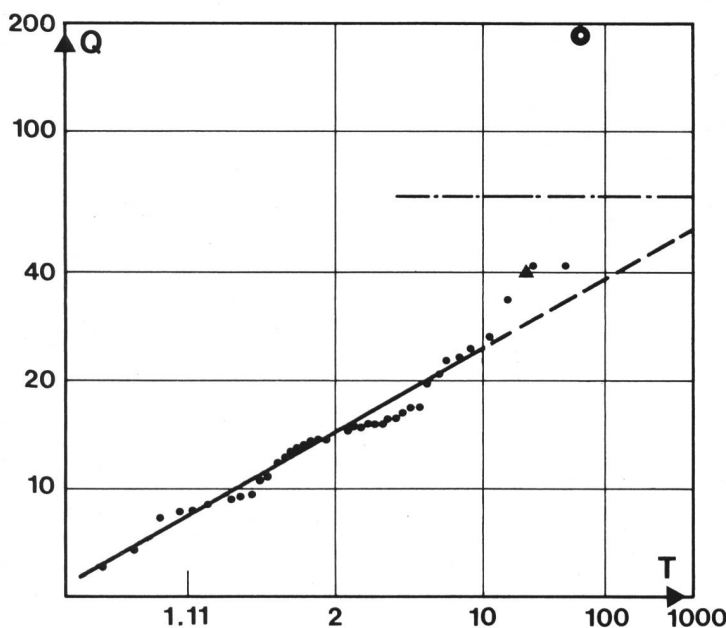


Bild 1. Die log. Pearson-III-Verteilung der jährlichen Spitzenabflüsse (•) 1943–1984.  $Q$  [m<sup>3</sup>/s],  $T$  [Jährlichkeit] (○) Spitzenwert 25. August 1939, (---) Schätzung Kürsteiner, (▲)  $Q_{20} = 1,5 \cdot 2,8 \cdot A^{0,7}$  gemäss [13].

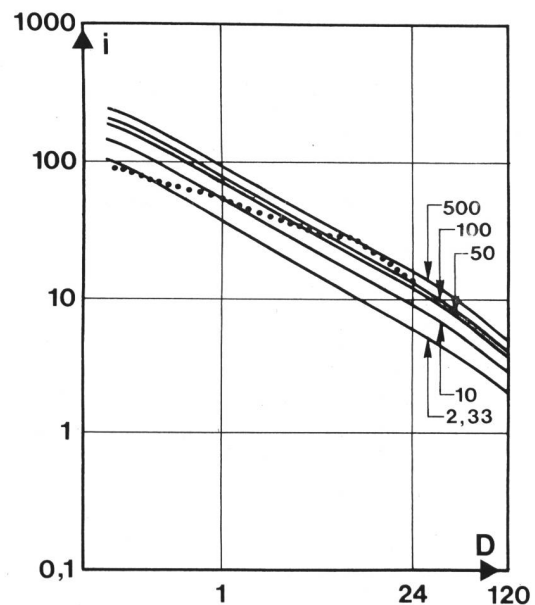


Bild 2. Niederschlags-Intensitäten  $i$  [mm/h] in Funktion der Regendauer  $D$  [h] in der Darstellung gemäss [15], 1980. (···) Ereignis des Falles 2.

Bild 2 [15]. Diese Darstellung zeigt, dass für ein kleines Einzugsgebiet von nur etwa 30 ha ein relativ geringer Abfluss resultiert, der in der Vergangenheit schon öfters und ohne schwerwiegende Folgen überschritten wurde. Und trotzdem ereignete sich in dieser Nacht vom 9. auf den 10. September 1965 in einem kleinen steilen Einzugsgebiet ein verheerendes Hochwasser. Was war geschehen, warum gerade zu diesem Zeitpunkt, an diesem Ort und in diesem Ausmass?

Im fraglichen Einzugsgebiet waren zu diesem Zeitpunkt grössere Teile der Bodenoberfläche durch Bauarbeiten beeinträchtigt. Zudem lagerten verstreut Lockermaterialien von früheren Bauarbeiten. All dies half mit, dass vermutlich eine Niederschlagszelle höherer Intensität zu einem Murgang führte, der alles auf seinem Weg niederwalzte und gar Häuser zerstörte.

Aus dem Versuch, dieses Ereignis vollständig verstehen zu wollen, ergeben sich vor allem zwei Lehren: Zum einen können menschliche Eingriffe entscheidende Folgen auf ein Abflussereignis haben, zum andern kann der *gesamte* Ablauf eines Niederschlagsereignisses, vor allem dessen Dauer und die örtlichen Schwankungen, massgebend die Ereignisse beeinflussen. Darauf haben auch *Zeller* und *Röthlisberger* in [16] hingewiesen.

### Fall 3

Anlässlich der Hochwasserereignisse vom August 1987 erlaubt ein Ausgleichsbecken auf der Alpensüdseite interessante Feststellungen im Zusammenhang mit der Ableitung von extremen Wassermengen. Dabei soll auf die eigentlichen hydrologischen Abläufe nicht eingegangen werden, sind diese doch in [5] ausführlich wiedergegeben. Hervorgehoben sei lediglich, dass bis gegen Mitternacht des 24. August 1987 das Betriebspersonal die Anlage nach bestem Wissen und Gewissen betreute und insbesondere die Öffnungen der Abflussorgane den ständig wechselnden

Zuflüssen anpasste. Ganz kurz vor Mitternacht aber stieg der Beckenspiegel äusserst rasant an bis ganz knapp unter die Kronenkote der Mauer. Erst das Tageslicht des darauffolgenden 25. August erlaubte eine einigermaßen plausible Erklärung der Vorgänge (Bilder 3 und 4).

Vermutlich hat nämlich an irgendeiner Stelle des etwa 100 km<sup>2</sup> messenden Einzugsgebietes eine natürliche Verkläuerung des Bachbettes stattgefunden. Der sich bildende Aufstau hat sich alsdann mit ständig wachsender Geschiebe- und Treibholzfracht dem Becken genähert und dieses kurz vor Mitternacht zum Überfließen gebracht. In welchem Masse das zur selben Zeit bei einer nahegelegenen Niederschlagsmessstation registrierte Intensitätsmaximum (Bild 5) von 40 mm/h auch mitgewirkt haben mag, ist schwer zu beantworten.

Von eminenter Bedeutung ist jedoch die Beeinträchtigung der Abflussorgane durch das Treibholz. Die maximale Ausflusswassermenge von etwa 400 m<sup>3</sup>/s, die sich infolge Beckenspiegels rechnerisch ergibt, dürfte denn auch nur kurze Zeit abgeflossen sein und sich im Unterlauf rasch reduziert haben. Tatsächlich ist der registrierte Spitzenwert bei der etwa 5 km unterhalb gelegenen Messstation nur noch 210 m<sup>3</sup>/s. Interessant ist übrigens, auch in diesem Zusammenhang das Frequenzdiagramm der Messstation (Bild 6) kurz zu betrachten, zeigt es doch erneut, zu welchem fragwürdigen Schlüssen seine Interpretation vor dem 24. August 1987 hätte führen können. Mit diesem Beispiel sollte aufgezeigt werden, dass Extremwerte des Abflusses aus andern, *nicht nur* niederschlagsbedingten Ereignissen entstehen können. Zudem ist es erforderlich, dass unsere Vorstellungen über das Funktionieren von Auslaufbauwerken, insbesondere aber von beweglichen Organen, unter bestimmten Umständen einer Revision bedürfen.

Nach jeder Analyse eines aussergewöhnlichen Ereignisses stellen wir immer wieder fest, an welchem grossem Informa-



Bild 3. Becken des Falles 3 nach dem Hochwasserereignis.



Bild 4. Schwemmholz vor den Klappen der Hochwasserentlastung.

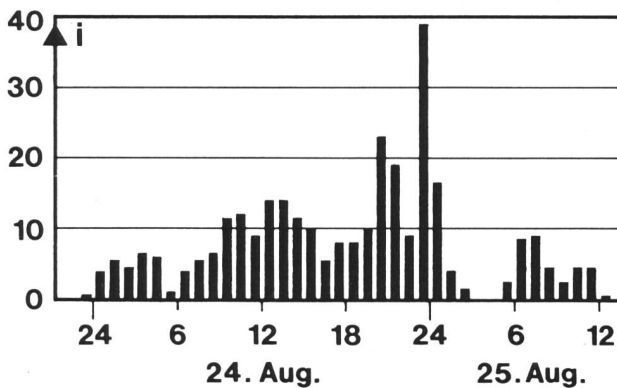


Bild 5. Niederschlags-Intensitätsdiagramm  $i$  [mm/h] vom 23. bis 25. August 1987 für den Fall 3 gemäss [5].

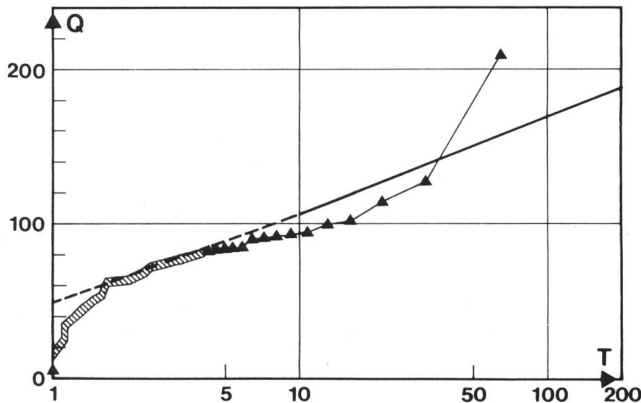


Bild 6. Frequenzdiagramm der unterhalb der im Fall 3 beschriebenen Anlage gelegenen Abflussmessstation gemäss [5]. Abfluss  $Q$  [m³/s] und Jährlichkeit  $T$  [Jahre].

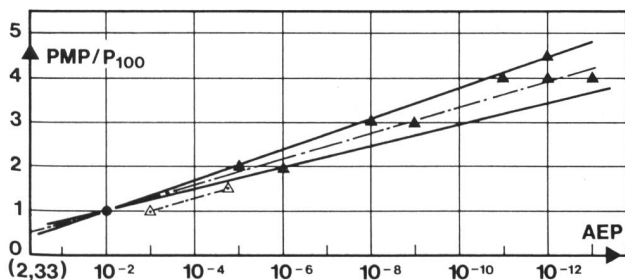


Bild 7. Verhältnis von 100jährlichem Niederschlag eines 24-Stunden-Regens zur PMP mit entsprechender jährlicher Überschreitenswahrscheinlichkeit AEP bei angenommener Gumbelverteilung. ( $\blacktriangle$ ) Werte grösser  $10^{-13}$  gemäss [2]. ( $\triangle$  - - -  $\triangle$ ) 1,5 mal der 1000jährige Niederschlag.

tionsmangel wir eigentlich leiden. Dies gilt insbesondere für den Mangel an gemessenen ausserordentlichen Abflusswerten, und grosse Zweifel mögen uns befallen, wenn, sagen wir aus 40 Jahren Beobachtung ohne wirkliches Extremereignis, auf die Sicherheit der Anlage durch Extrapolation der Serie geschlossen wird [7]. Zuvieler Berichte sind uns heute bekannt, wie z.B. anlässlich des XVI. ICOLD-Kongresses 1988 in San Francisco publiziert, wo selbst das 1000- oder gar 10000jährige Hochwasser um ein Vielfaches überschritten wurde. Über die Problematik der Extrapolation dieser Werte habe ich bereits an anderer Stelle eingehend berichtet [9, 10], und ich möchte nur anfügen, dass neueste Informationen [5], aber auch die Ansicht aus anderen Ländern, wie z.B. Australien [1] und den USA [2], mich in dieser Auffassung bestätigen. Wenn wir Jahresspitzen extrapolieren, so benutzen wir in der Grosszahl Werte, die gar nicht einem Hochwassermechanismus-typischen Vorgang entspringen. Wir extrapolieren somit für ein Extremereignis uncharakteristische Werte. Da hilft es auch kaum, wenn wir das so ermittelte 1000jährige Hochwasser mit einem Faktor grösser 1 multiplizieren, um so die «Sintflut» zu bestimmen [3], oder wenn wir bis zum 10000jährigen Abfluss extrapolieren [7].

Wenn wir aber Glück haben, verfügen wir in der Beobachtungsserie der Abflüsse über mindestens ein Extremereignis, das uns aufhorchen lässt. In einem mündlichen Beitrag am ICOLD-Kongress in San Francisco hat ein Teilnehmer sehr zutreffend solche Ereignisse als «Giganten unter Zwergen» bezeichnet. Wenden wir uns also den Giganten zu und lassen uns nicht von den vielen Zwergen zu falschen Schlüssen verführen. In der Tat, so hält eine Arbeitsgruppe über Hochwasserermittlung in den USA fest [2], wurde dort bereits in den späten 30er Jahren festgestellt, dass Frequenzanalysen von gemessenen Abflüssen ein ungeeignetes Mittel zur Abschätzung von Extremwerten darstellen. Mit der Einführung des «unit hydrograph» durch Sherman 1933 wurde es möglich, den Abfluss mittels Starkregen zu berechnen. Um auf diesem Weg zum Extremereignis zu gelangen, muss also vorerst der extreme Niederschlag «the Probable Maximum Precipitation» oder PMP bestimmt werden. Sehr viel Literatur ist über diese Methode vorhanden (in [11] aufgelistet), so dass auf die Methode selbst nicht eingegangen wird. Vielmehr sei versucht, auf einige im Ausland gesammelte Erfahrungen mit der PMP-Methode und der daraus folgenden PMF-Bestimmung («Probable Maximum Flood») einzugehen.

Von entscheidender Bedeutung ist die Tatsache, dass bei dieser Methode nur Informationen tatsächlich erfolgter Extremereignisse, das heisst also von Giganten, zur Beurteilung beigezogen werden, Werte also, wie sie etwa von Vischer in [12] für den Abfluss zusammengestellt wurden. Liegen für ein Einzugsgebiet keine Angaben über solche Ereignisse vor, wird der Extremabfluss aus einer Kombination von verschiedenen kritischen hydrologischen und meteorologischen Verhältnissen bestimmt. Dabei gilt es vorerst, Starkniederschläge einem bestimmten Niederschlagsgebiet zuzuordnen, um alsdann über den «unit hydrograph» oder ein Abflussmodell zum Spitzenwert zu gelangen. Wie gross dabei der Einfluss der angenommenen kritischen Werte auf das Endergebnis sein kann, soll an der Zufluss-Hochwasserspitze einer Talsperre in Australien, wo die PMP/PMF-Methode seit langem angewendet wird, aufgezeigt werden (Tabelle 1). Es handelt sich dabei um die Burrinjuck-Talsperre, mit einem Einzugsgebiet von etwa 13000 km², die 1928 fertiggestellt wurde und vermutlich die grösste Anzahl von Revisionen des Hochwasserzuflusses in Australien aufweist [1].

Tabelle 1. Burrinjuck-Talsperre in Australien. Einzugsgebiet 13000 km<sup>2</sup>. Geschätzte Spitzenwerte des Hochwasserzuflusses gemäss [1].

| Jahr der Schätzung | Methode   | Spitzenwert [m <sup>3</sup> /s] |
|--------------------|-----------|---------------------------------|
| 1905               | ?         | 1652                            |
| 1920               | ?         | 6625                            |
| 1939               | ?         | 13450                           |
| 1956               | empirisch | 20000                           |
| 1971               | PMP/PMF   | 19800                           |
| 1982               | PMP/PMF   | 23000                           |
| 1986               | PMP/PMF   | 38000                           |

Dieses Beispiel mag zeigen, wo das Hauptproblem bei der PMP/PMF-Methode liegt. Wenn über die Methode selbst und die zu berücksichtigenden Faktoren im allgemeinen Einverständnis herrscht [14], können die Ansichten über die Bedeutung oder Grösse der einzelnen Faktoren stark divergieren. Es ist deshalb nicht verwunderlich, dass eine Arbeitsgruppe der ASCE (American Society of Civil Engineers) in den USA zur Aussage kommt, dass grössere Hochwasser als das PMF denkbar sind [2]. Allein schon die Abschätzung des für die Methode erforderlichen maximalen Niederschlags (PMP) birgt Unsicherheiten in sich, und es sind Fälle bekannt, wo der tatsächlich gemessene Niederschlag grösser war als der vorgängig geschätzte.

Eine Studie in den USA [11] hat ferner gezeigt, dass über weite Gebiete beobachtete Starkniederschläge so zwischen 50% und 70% des PMP-Wertes (24-Stunden-Regen über 25,9 km<sup>2</sup>) betragen. Das heisst mit anderen Worten, dass dort für die Betrachtung der Sicherheit einer Anlage unter Umständen ein doppelt so grosser Niederschlag wie der bisher grösste beobachtete in Rechnung gesetzt werden muss. Dies kann mithin zu Konsequenzen führen, die den Bau oder den Umbau einer Anlage aus rein wirtschaftlichen Gründen in Frage stellen. Deshalb werden in solchen Fällen Risikoanalysen vorgenommen. Diese bedingen aber, dass der PMP respektive der PMF erneut eine jährliche Überschreitenswahrscheinlichkeit (annual exceedance probability  $AEP = [1 - (1 - 1/T)^n]^{-1}$ ) zugeordnet wird.  $T$  ist dabei die Jährlichkeit des Ereignisses und  $n$  die Anzahl Jahre des Betriebs. Die bereits erwähnte Arbeitsgruppe der ASCE [2] schlägt vor, dass für Hochwasserentlastungen drei Kategorien von Anlagen auszuscheiden seien, wobei praktisch für die ersten beiden Kategorien die PMF vorgeschrieben wird und nur die dritte Kategorie von gewöhnlich kleinen und wenig aufwendigen Sperren mit einem kleineren Hochwasser als das PMF dimensioniert werden darf. Dieselbe Studie zeigt aber auch, dass gewaltige Unterschiede in der Überschreitenswahrscheinlichkeit nur schon bei der PMP-Abschätzung vorhanden sind, wie dies aus Bild 7 hervorgeht, wo nur Werte grösser als  $AEP = 10^{-13}$  aufgetragen sind. Tatsächlich reichen die Werte, die basierend auf einer Gumbelverteilung der gemessenen Niederschlagswerte gerechnet sind, bis  $10^{-19}$ . Das maximale Verhältnis zwischen dem 100jährigen Niederschlag  $P_{100}$  und dem PMP wurde dabei mit 6 ermittelt. Diese Zahlen alleine mögen genügen, um die Problematik der PMP/PMF-Methode aufzuzeigen. Immerhin erlaubt diese Studie auch die drei nachstehend formulierten Folgerungen:

- Ohne sorgfältige Interpretation der vorhandenen Niederschlagsmessdaten geht es offensichtlich auch bei der PMP/PMF-Methode nicht. Die in der Schweiz im Rahmen eines nationalen Forschungsprogrammes erbrachten Resultate, wie zum Beispiel die Regionalisierung der Starkniederschläge [6], sind daher sehr wertvoll. Im Hinblick auf die Beurteilung von Extremereignissen sind sie aber «nur» Beitrag und nicht Endziel.
- Die Risikoanalyse mag, bei der grossen Streuung

der jährlichen Überschreitenswahrscheinlichkeit eines PMP/PMF-Ereignisses, nicht zu überzeugen. Vielmehr ist bei Stauanlagen zu überprüfen, was im konkreten Fall nach Überschreiten der Ausflusskapazität der Hochwasserentlastung tatsächlich passiert. In einigen mir bekannten Fällen besteht noch absolut keine Gefahr, auch wenn das seinerzeit festgelegte Hochwasser ganz wesentlich überschritten werden sollte.

- Die Hochwasserbemessung einer Stauanlage bedarf einer periodischen Überprüfung sowie Anpassung an neue Messergebnisse und Kenntnisse. Dieser Grundsatz wird auch vom Internationalen Komitee für grosse Talsperren vertreten [8].

### Schlussfolgerungen

Es gibt kein Niederschlags- oder Abflussereignis, das nicht durch ein noch grösseres übertroffen werden könnte, dessen Auftreten jedoch eine kleinere Wahrscheinlichkeit aufweisen würde. Dabei wissen wir nicht, ob es uns je gelingen wird, den absolut höchsten Wert mit Sicherheit festzulegen. In dieser Beziehung hat *Brauner* [4] in der «Weltwochen»-Ausgabe vom 11. August 1988 recht, wenn er schreibt: «Es kommt künftig eher alles noch schlimmer als bisher.» Bei der berechtigten Suche nach Gründen einer solchen Verschlimmerung darf aber nicht vergessen werden, dass seit jeher die Oberfläche unserer Erde durch Extremereignisse entscheidend mitgestaltet wurde. Wenn es dabei zu eigentlichen Katastrophen kommt, so nur daher, weil die Gesellschaft offenbar ein sehr kurzes Gedächtnis hat und sich allzuoft in Gebiete vordrängt, die einem Naturelement, wie zum Beispiel dem Wasser, vorbehalten bleiben sollten. Wir Bauingenieure haben dieser Tatsache in Zukunft mehr Aufmerksamkeit zu widmen und dafür zu sorgen, dass keine nicht verantwortbaren Risiken eingegangen werden.

### Verzeichnis der Unterlagen

- 1 ANCOLD Bulletin No. 79, April 1988 (Australian National Committee of ICOLD).
- 2 ASCE, Evaluation Procedures for Hydrologic Safety of Dams. 1988.
- 3 *Biedermann, R.*: Sicherheitsanforderungen an die Betriebseinrichtungen von Stauanlagen aus Schweizer Sicht.
- 4 *Brauner, Ch.*: Es kommt künftig eher alles noch schlimmer als bisher. «Weltwoche» Nr. 32, 11. August 1988.
- 5 Bundesamt für Umweltschutz: Hochwasserereignisse im Jahre 1987 in der Schweiz. «Mitteilung» Nr. 10, 1988.
- 6 *Geiger, H., Stehli, A., Castellazzi, U.*: Regionalisierung der Starkniederschläge und Ermittlung typischer Niederschlagslinien. «Beiträge zur Geologie der Schweiz – Hydrologie» Nr. 33, 1986.
- 7 *Häusler, E.*: Sicherheitsanforderungen an die Betriebseinrichtungen von Stauanlagen aus deutscher Sicht. «Schriftenreihe des Österr. Wasserwirtschaftsverbandes» H. 70, 1987.
- 8 ICOLD: Dam Safety, Guidelines. «Bulletin» 59, 1987.
- 9 *Sinniger, R.*, et al.: Risikoberechnung von Hochwasserentlastungsanlagen. «wasser, energie, luft», H. 5/6, 1985.
- 10 *Sinniger, R.*: Hochwasser, Bemessung und Ableitung bei Talsperren. «wasser, energie, luft», H. 9, 1988.
- 11 *Stallings, E. A.*, et al.: Evolution of PMP Cooperative Studies. «Journal of Water Resources Planning and Management», Vol. 112, No. 4, Oct. 1986.
- 12 *Vischer, D.*: Das höchstmögliche Hochwasser und der empirische Grenzabfluss. «Schweizer Ingenieur und Architekt», Heft 40/1980.
- 13 *Vischer, D., Naef, F.*: Hochwasserschätzung zur Bemessung der Hochwasserentlastung von Talsperren. «wasser, energie, luft», H. 5/6 1985.
- 14 *Wang, B., Jawed, K.*: Transformation PMP to PMF: Case Studies. «Journal of Hydraulic Engineering», Vol. 112, No. 7, July 1986.
- 15 *Zeller, J.*, et al.: Starkniederschläge des schweizerischen Alpen- und Alpenrandgebietes. EAFV, 1977/1980.
- 16 *Zeller, J., Röthlisberger, G.*: Das Abfluss-Intensitätsdiagramm, ein Hilfsmittel zur Beurteilung von extremen Hochwasserabflüssen. «wasser, energie, luft», H. 7/8, 1988.

Adresse des Verfassers: *Richard Sinniger*, Professor an der ETH Lausanne, Institut für Hydraulik und Energie, GC-Ecublens, CH-1015 Lausanne.

Vortrag gehalten am 17. Januar 1989 im Rahmen der VAW-Kolloquien an der ETH Zürich (organisiert von Prof. Dr. *D. Vischer*).